

## スピントルク熱アシスト磁気記録方式の原理実証

HDD の記録効率を 35%向上、エネルギー削減と耐久性向上に期待

NIMS は、米国 Seagate Technology 社との共同研究により、従来の熱アシスト磁気記録にスピントルクを組み合わせることで、記録効率を 35%向上させる新たな記録原理を実証しました。本研究により、磁気記録時の熱エネルギー消費を削減し、HDD の耐久性と信頼性の向上が期待されます。この成果は、2025年1月13日付で Acta Materialia 誌に掲載されました。

### 研究成果の概要

#### ■ 従来の課題

従来の熱アシスト磁気記録方式では、レーザーで媒体を加熱して情報を記録しますが、その熱エネルギーは媒体内で廃熱され、記録効率に寄与していませんでした。また、媒体を高温に加熱するプロセスは多くのエネルギーを消費し、繰り返し動作による磁氣的・物理的な劣化や、媒体そのものの損傷が課題とされてきました。

#### ■ 成果のポイント

当研究グループは、レーザー照射時に記録媒体内に生じる温度差に着目し、鉄白金（FePt）記録層の下層にマンガン白金（MnPt）反強磁性層を挿入する新たな構造を開発しました（図 1）。この構造により、従来の熱アシスト磁気記録方式と比較して約 35%の記録効率向上を達成しました。この成果は、温度差によって発生するスピントルクを生み出し、磁化反転を補助することで、従来の熱アシスト効果を増強した結果です。さらに、本研究により、スピントルク効果の HDD への応用が可能であることを実証し、新たな記録技術の道筋を示しました。

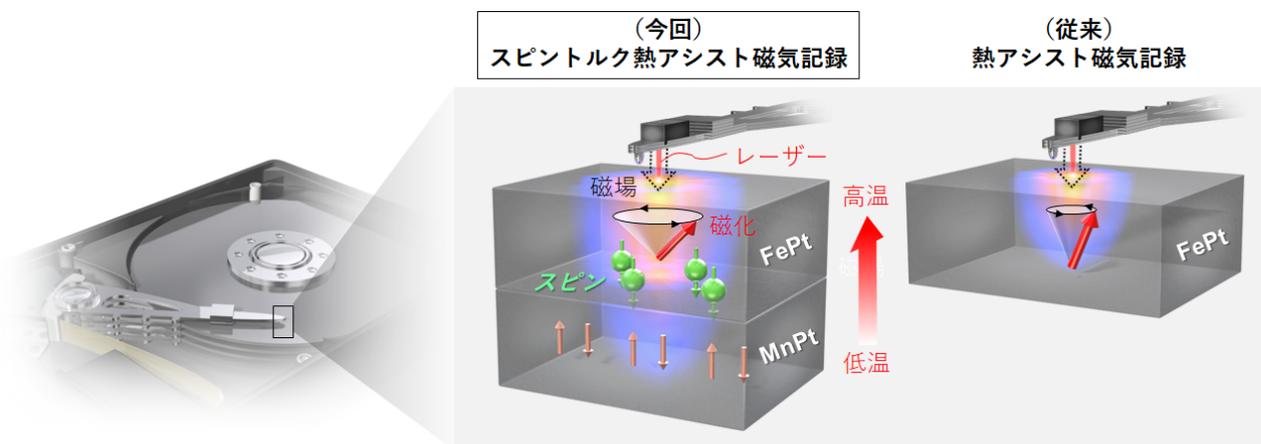


図 1：スピントルク熱アシスト磁気記録の原理。レーザーによる加熱により MnPt 層に温度差が生じ、それによってスピン（緑色矢印）が FePt 層に注入されます。このスピンはスピントルクを生み出し、磁化反転を補助します。従来の熱アシスト磁気記録では熱による磁化の変化のみが記録に寄与していましたが、本研究ではスピントルクが新たな磁化制御の役割を果たしています。

## ■ 将来展望

今後、本研究の成果を基に、鉄白金（FePt）ナノグラニュー媒体への適用を進め、スピントルク熱アシスト磁気記録を HDD の主要記録方式として実用化することを目指します。これにより、HDD の大容量化や消費電力の削減が可能となり、次世代 HDD 技術の発展が期待されます。

## ■ その他

本研究成果は、2025 年 1 月 13 日に Acta Materialia 誌のオンライン版に掲載されました。

## 研究の背景

従来の熱アシスト磁気記録方式<sup>[1]</sup>では、情報記録時に磁気記録媒体をキュリー温度<sup>[2]</sup>（約 450 °C）付近まで加熱し、磁化反転を容易にすることで記録を行います。現行の HDD で広く使用されている鉄白金（FePt）ナノグラニュー媒体<sup>[3]</sup>は、優れた熱安定性を持つ一方、磁場による書き込みが困難でした。しかし、熱アシスト磁気記録方式の導入により、これらの課題が克服され、記録密度の向上が実現しました。特に、米国 Seagate Technology 社は 2020 年にこの方式を実用化し、2024 年から大量生産を開始しています。

一方で、データセンターのメインストレージとしての HDD には、さらなる大容量化と低消費エネルギー化が求められています。しかし、記録媒体を急激に加熱するプロセスには、長期的な繰り返し使用による磁氣的劣化<sup>[4]</sup>や、媒体および書き込み素子への物理的ダメージ<sup>[5]</sup>といった課題があります。これらは熱アシスト磁気記録方式に特有の懸念事項となっています。

これらの課題を解決し、現行方式の弱点を補う新たな記録技術の開発が、HDD のさらなる性能向上と持続可能なデータストレージの実現に不可欠です。

## 研究内容と成果

NIMS と米国 Seagate Technology 社の研究グループは、従来の熱アシスト磁気記録にスピントルク<sup>[6]</sup>の効果を組み合わせた新たな記録方式を考案しました。この技術により、従来の熱アシストのみの場合と比較して記録効率が約 35% 向上し、書き込み時に必要な熱エネルギーを大幅に削減できることを実証しました。

- 鉄白金（FePt）層の下にマンガン白金（MnPt）反強磁性層<sup>[7]</sup>を挿入した積層構造に対し、レーザーを照射すると面直方向に温度差<sup>[8]</sup>が発生します。この温度差によって生成されたスピン<sup>[9]</sup>が FePt 層に注入され、スピントルクを生み出します。このスピントルクが熱ゆらぎ効果を補完し、記録効率の向上を実現しました（図 1）。
- 実験では超短パルスレーザーを用いたポンププローブ法<sup>[10]</sup>を適用し、遅延時間を調整して磁気光学履歴曲線を測定しました。その結果、レーザー照射によって保磁力が最大 80% 低減し、そのうち約 35% がスピントルク効果によるものであることを確認しました（図 2）。
- スピンを効率的に FePt 層へ注入するには、MnPt 反強磁性層との界面が重要です。本研究では、FePt と同じ結晶構造を持ち、面内格子整合性<sup>[11]</sup>が高い MnPt を用いることで、原子レベルで平坦な界面を実現し、スピントルク効果を最大化することに成功しました。

スピントルク効果を HDD に応用する試みはこれまで実現されておらず、本研究がその可能性を初めて実証した点に大きな意義があります。

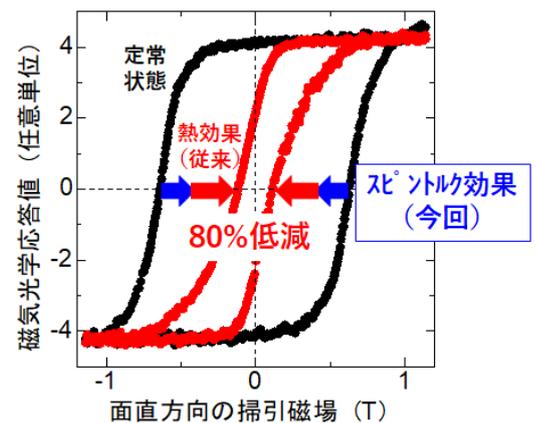


図 2：熱アシストとスピントルク効果による保磁力低減の比較。レーザー照射により保磁力が最大 80% 低減し、そのうち 35% がスピントルク効果によるものです。従来の熱アシスト効果（赤矢印）に加え、スピントルク効果（青矢印）が働くことで、さらに保磁力が低減しています。

## 今後の展開

本研究成果は、熱アシスト時のエネルギー消費を削減し、HDDの耐久性向上を通じてデータセンターの消費電力を大幅に削減できる可能性があります。また、スピントルク効果の応用に新たな道を開き、次世代HDD技術の基盤となることが期待されます。さらに、本成果は、デバイス動作中に自己形成される温度差を有効活用する新たなコンセプトを提案しており、これを応用した新しい機能性デバイスの創出につながる展開が期待されます。

### ■ 掲載論文

題目	Thermal spin-torque heat-assisted magnetic recording
著者	S. Isogami, Y. Sasaki, Y. Fan, Y. Kubota, J. Gadbois, K. Hono, and Y.K. Takahashi
雑誌	Acta Materialia
DOI	10.1016/j.actamat.2025.120743
掲載日時	2025年1月13日

### ■ 用語解説

- [1] 熱アシスト磁気記録：** 磁気ヘッドからレーザーを照射し、記録媒体をキュリー温度付近まで局所的に加熱することで、磁化反転に必要なエネルギー障壁を下げ、情報の記録効率を高める技術。
- [2] キュリー温度：** 磁性体が磁気特性を失う温度。鉄白金（FePt）の場合は約450℃で、この温度を超えると磁性が消失し、冷却すると再び磁気特性が回復する。
- [3] 鉄白金(FePt)ナノグラニューラ媒体：** HDDに使用される高い熱安定性を持つ磁性材料。ナノメートルサイズの粒子が記録層を形成し、高密度記録に適している。
- [4] 磁氣的劣化：** 繰り返し動作による記録媒体の磁化特性の低下。データ保持力の低下や信号の劣化につながる。
- [5] 物理的ダメージ：** 加熱や摩擦によって記録媒体や書き込み素子に発生する損傷。HDDの寿命を短縮する要因となる。
- [6] スピントルク：** 伝導電子のスピンの磁気体と相互作用し、磁化の方向を変えようとする力。主にスピントロニクスデバイスで活用されてきたが、本研究ではHDDに応用する道筋を初めて示した。
- [7] マンガン白金(MnPt)反強磁性層：** 強磁性材料の磁化方向を一方向に固定するために用いられることが多いが、スピンを効率的に生成・注入できるため近年注目されている。鉄白金（FePt）層との相性が良く、平坦な界面を形成する。
- [8] 温度差：** 本研究では、レーザー照射によってナノ秒レベルで記録媒体内に生じる温度勾配を指す。これによりスピンの生成される。
- [9] スピン：** 電子が持っている磁気。温度差（スピンゼーベック効果）や電流などによって発生し、磁性体の磁化に影響を与える。本研究では、レーザー照射によってMnPt層に温度差が生じ、その結果としてFePt層にスピンの注入される。このスピンのスピントルクを生み出し、磁化反転を補助することで、記録効率の向上に寄与する。
- [10] ポンププローブ法：** 超短パルスレーザーを用い、試料に「ポンプ」光で刺激を与え、「プローブ」光で応答を観測する手

法。時間分解能が高く、磁性体などの動的特性を測定する際に用いられる。

**[11] 格子整合性：**異なる材料同士の結晶構造の整合性の程度。整合性が高いと、界面での構造歪みが小さくなり、効率的なスピンの移動や高効率な相互作用が可能となる。

## 本件に関するお問い合わせ先

<b>研究内容について</b>	NIMS 磁性・スピントロニクス材料研究センター 磁気記録材料グループ 主任研究員 磯上慎二 E-mail: isogami.shinji@nims.go.jp TEL: 029-859-2633 URL: <a href="https://www.nims.go.jp/mmu/mrm/">https://www.nims.go.jp/mmu/mrm/</a>
	Advanced Technology Development, Seagate Technology. Sr. Staff Engineer Yichun Fan E-mail: Yichun.fan@seagate.com
<b>報道・広報について</b>	<b>NIMS 国際・広報部門 広報室</b> 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1 E-mail: <a href="mailto:pressrelease@ml.nims.go.jp">pressrelease@ml.nims.go.jp</a> TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017
	<b>Seagate Technology</b> Agnieszka Zielinska E-mail: <a href="mailto:agnieszka.zielinska@seagate.com">agnieszka.zielinska@seagate.com</a> Nari Yoon E-mail: <a href="mailto:nari.yoon@seagate.com">nari.yoon@seagate.com</a>

## NIMS とは？

NIMS（ニムス）は、国内で唯一、物質・材料科学の研究に特化した国立研究開発法人です。

世界を構成する様々な「物質」。その中で私たちの生活を支えているのが「材料」です。その材料も、大きくは有機・高分子材料、無機材料に分類でき、無機材料はさらに金属材料とセラミックス材料とに分けられます。石器時代から産業革命を経て現代まで、人類の発展はこの材料の進歩とともにありましたが、近年では、地球規模の環境や資源問題の解決手段のひとつとしても注目が高まっています。NIMS はその物質・材料に関する研究に特化した国立研究開発法人として、「材料で、世界を変える」をテーマに、未来を拓く物質・材料の研究に日々取り組んでいます。

### 【NIMS を掴む参考ページ】

NIMS はこんな研究所！ <https://www.nims.go.jp/nims/introduction.html>

NIMS ビジョン <https://www.nims.go.jp/nims/profile.html#vision>